

ЧЕРЕПАНОВ А.О.

Геофизик ООО «Радионда», аспирант Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (РГГРУ-МГРИ), г. Москва, Cherepanov_A_O@yahoo.com

CHEREPANOV A.O.

A geophysicist of the «Radionda» Ltd., postgraduate student of Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (RGGRU-MGRI), Moscow, Cherepanov_A_O@yahoo.com

МЕТОДЫ СКВАЖИНОЙ ГЕОФИЗИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ НА КУСТОВЫХ ПЛОЩАДКАХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

BOREHOLE GEOPHYSICAL METHODS FOR INVESTIGATION OF PERMAFROST SOILS AT MULTIPLE WELL PLATFORMS OF OIL-AND-GAS FIELDS IN WESTERN SIBERIA

Ключевые слова: растепление многолетнемерзлых пород; кустовая площадка; односкважинное радиоволновое профилирование (ОРВП); радиоволновая геоинтроскопия; межскважинные исследования (РВГИ).

Key words: permafrost soil thawing; multiple well platform; one-borehole radiowave profiling (ORWP); radiowave geointroscopy (RWGI); cross-borehole exploration.

Аннотация: приведены результаты исследования геокриологического строения многолетнемерзлых грунтов на кустовых площадках нефтегазовых месторождений Западной Сибири. Изучен процесс растепления вокруг эксплуатационных скважин, участвующих в добычном цикле. Для решения поставленных задач предложен комплекс скважинных геофизических методов, в котором ключевым является изучение электрических характеристик грунтов с помощью односкважинного радиоволнового профилирования (ОРВП) и радиоволновой геоинтроскопии межскважинного пространства (РВГИ).

Abstract: the research results of the geocryological structure of permafrost soils at multiple-well platforms of oil-and-gas fields in Western Siberia are presented. The permafrost soil thawing process around production wells involved in the production cycle is studied. To solve the assigned tasks the author proposes a complex of borehole geophysical methods. The key exploration is investigating electrical soil characteristics using one-borehole radiowave profiling (ORWP) and radiowave geointroscopy of cross-borehole space (RWGI).

Введение

На территории Западной Сибири в области распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) разработка месторождений углеводородов ведется с помощью кустового бурения. На кустовых площадках устья скважин плотно сгруппированы. Расстояние между ними может варьироваться от нескольких метров до первых десятков метров. Применение в добычном цикле высокотемпературных скважин, через которые прокачивается разогретый до 120 °С раствор, приводит к неблагоприятным изменениям геокриологических условий. Ствол такой скважины является аномальным источником тепла, вокруг которого в процессе эксплуатации образуется область протаивания ММГ. Зона протаивания может перерасти в термокарстовую воронку, и это повлечет за собой потерю устойчивости и снижение долговечности объектов кустовой площадки [2].

Прогноз и предупреждение этих нежелательных явлений основаны на изучении теплофизических свойств грунтов, слагающих основания кустовых площадок, и контроле развивающихся процессов растепления путем режимных измерений температуры. При этом наиболее эффективно использование скважин глубиной 20–30 м, при бурении которых отбираются образцы керна для лабораторного изучения их теплофизических свойств. В дальнейшем наблюдательные скважины используются для режимных наблюдений за температурой в грунтах ниже границы ее сезонных колебаний. Недостатком таких работ является локальность изучения физических характеристик, ограниченная область, непосредственно прилегающая к стенкам скважины. С другой стороны, мерзлотное состояние пород находит отражение в их электромагнитных свойствах, таких как электрическое сопротивление (ρ) и относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ), которые можно изучать дистанционно. Более того, электрические характеристики по сравнению с температурой более чувствительны к изменениям физико-механических характеристик грунтов, связанных с фазовым переходом льда в жидкость [7]. Хорошими перспективами для их изучения обладают скважинные радиоволновые методы, позволяющие определять распределение электропроводности грунтов в межскважинном пространстве [8].

При исследованиях на кустовых площадках методы скважинной геофизики по сравнению с наземной электро-

разведкой имеют ряд следующих преимуществ:

- практически отсутствует влияние приповерхностных неоднородностей;
- снижается влияние высокого уровня технологических помех на действующих кустовых площадках, связанных со значительной плотностью расположения промышленных объектов (электросетей, трубопроводов, различных построек и т.д.);
- с увеличением глубины сохраняется детальность и надежность исследований;
- обеспечивается идентичность условий при регулярных наблюдениях.

Необходимость контроля теплового режима объектов, находящихся в криолитозоне, оговаривается в строительных нормах и правилах [6]. Обустраиваемые с этой целью наблюдательные скважины целесообразно использовать и для скважинных геофизических наблюдений.

В данной работе представлены результаты впервые примененного комплекса методов скважинной геофизики на двух действующих добычных участках, расположенных на севере Западной Сибири. Научно-производственной компанией ООО «Радионда» в период с 2010 по 2012 год были проведены исследования на этапах проектирования и эксплуатации кустовых площадок с целью изучения геокриологического строения верхней части разреза.

Комплекс методов скважинной геофизики

В процессе исследования использовался следующий комплекс методов:

- электромагнитный каротаж методом многочастотного односкважинного радиоволнового профилирования (ОРВП-МЧ);
- исследование межскважинного пространства с помощью радиоволновой геоинтроскопии (РВГИ);
- скважинная термометрия;
- гамма-каротаж (ГК).

Односкважинное радиоволновое профилирование

Односкважинное радиоволновое профилирование (ОРВП) позволяет изучать электрические свойства околоскважинного пространства.

Скважинный прибор ОРВП состоит из передатчика и приемника, размещенных на фиксированное расстояние. Передающее и принимающее устройства нагружены на объемные электрические антенны. Зная параметры установки, контролируя значения тока на входе излучающей антенны и регистрируя сигнал, пропорциональный осевой компоненте амплитуды напряженности электрического поля, можно произвести расчет эффективного удельного электрического сопротивления грунтов ($r_{эф}$). [4] (рис. 1). Скважинная аппаратура ОРВП-40 обеспечивает возможность проведения многочастотных измерений в диапазоне частот от 1,25 до 50 МГц, что поз-

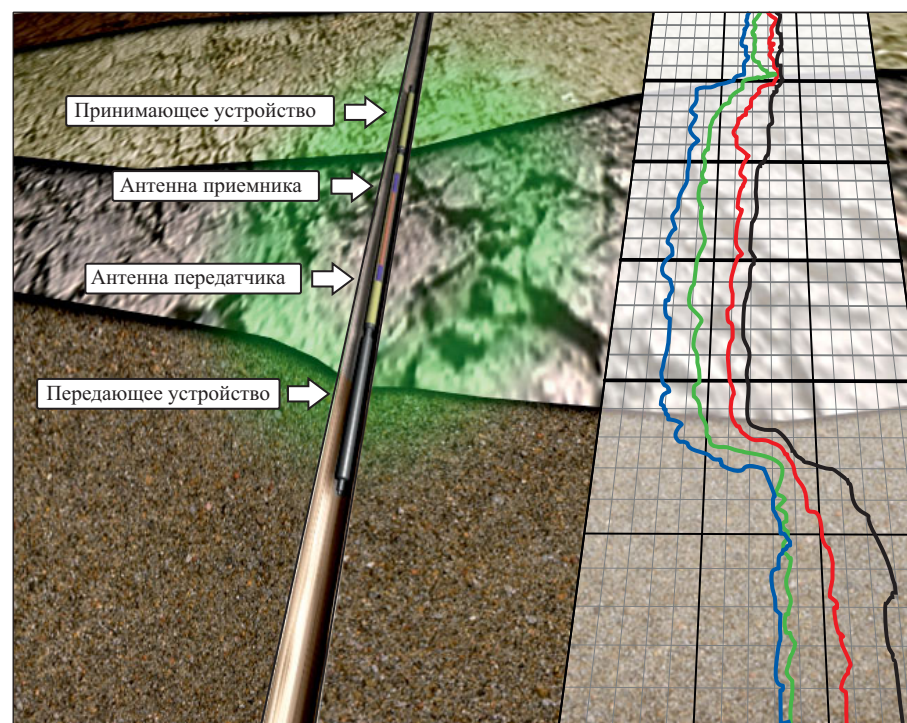


Рис. 1. Схема ОРВП

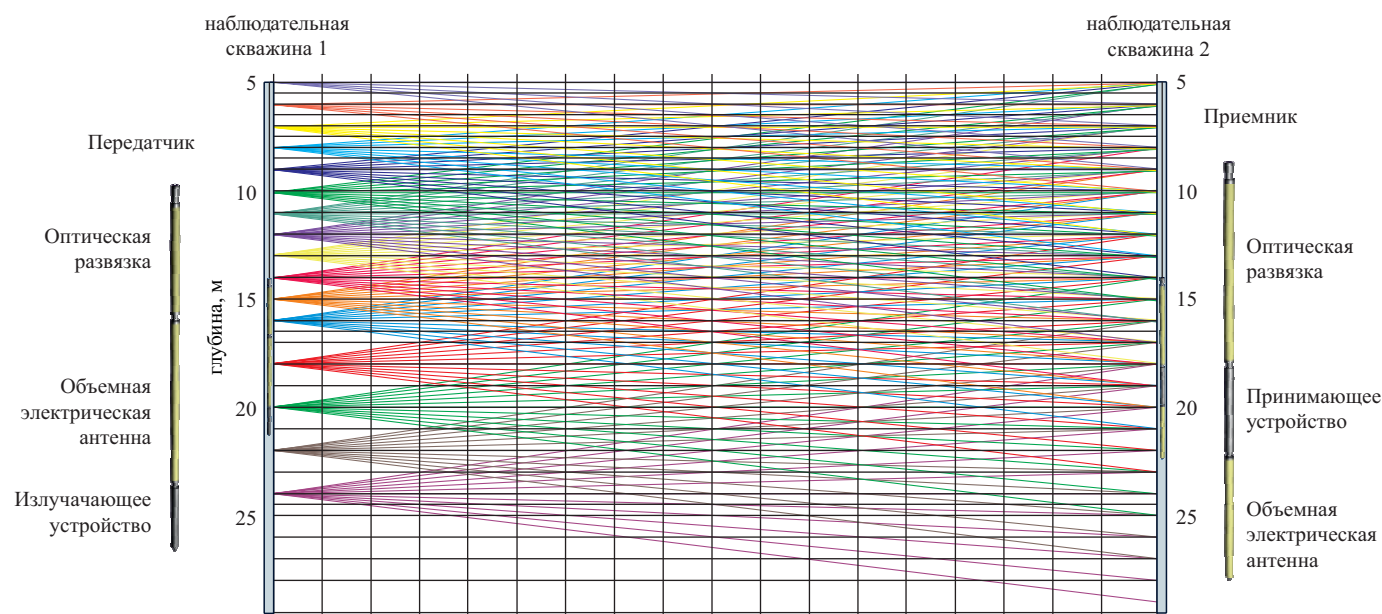


Рис. 2. Верная схема измерений РВГИ. Вертикальная ось — глубина, м; горизонтальная ось — расстояние между наблюдательными скважинами

воляет определить не только $r_{эф}$, но и значения относительной диэлектрической проницаемости пород ($\epsilon_{эф}$) в скважинной области.

В отличие от стандартного (КС) и бокового (БК) электрокаротажа сопротивлений метод ОРВП может использоваться в сухих и обсаженных полиэтиленовыми трубами скважинах, а по отношению к методу индукционного каротажа он имеет расширенный диапазон в сторону высоких сопротивлений, что делает его перспективным для изучения многолетнемерзлых грунтов.

Радиоволновая геоинтроскопия

Радиоволновая геоинтроскопия — метод исследования межскважинного пространства, основанный на изучении интенсивности поглощения энергии радиоволн грунтами, расположенными на трассе распространения волны от

излучателя к приемнику поля. Электрические свойства пород в естественном залегании и их распределение в изучаемом объеме среды определяются путем анализа совокупности данных, получаемых с помощью многократного просвечивания межскважинного пространства радиоволновым полем дипольного источника. Грунты, обладающие более низкими значениями $r_{эф}$ и $\epsilon_{эф}$, характеризуются более высоким поглощением радиоволн [1, 3].

Аппаратура РВГИ включает излучатель и приемник, нагруженные на электрические антенны. Измерения РВГИ проводятся веерным способом (рис. 2), при котором положения излучателя фиксируются в первой скважине, а во второй, где находится приемник, производятся измерения с заданным шагом по всему рабочему интервалу. Затем излучатель перемещается в сле-

дующий пункт, фиксируется в нем, и снова проводятся измерения во второй скважине. Этот цикл повторяется до тех пор, пока излучатель не пройдет всю скважину.

Для измерений использовалась аппаратура РВГИ-2007 и программное обеспечение, разработанные в ООО «Радионда». Исследования проводились в широком диапазоне частот — от 2,5 до 31 МГц с шагом 1 м.

При обработке полученных данных межскважинное пространство разбивается на равные ячейки заданного размера. Многократное пересечение лучей дает возможность рассчитать эффективное электрическое сопротивление в пределах каждой ячейки [5].

Эффективность применения данного комплекса существенным образом зависит от параметров сети наблюдательных скважин (НС), обсаженных

Таблица 1

Характеристики ИГЭ по данным ГИС- и лабораторных исследований											
ИГЭ	Эффективное электрическое сопротивление, Ом·м	Относительная диэлектрическая проницаемость	Естественная радиоактивность, мкР/ч	Плотность, г/см³	Влажность, %	Коэффициент температуропроводности		Коэффициент теплопроводности		Объемная теплоемкость	
						для грунтов					
						талых $a_{th} \cdot 10^6$, м²/с	мерзлых $a_f \cdot 10^6$, м²/с	талых λ_{th} , Вт/(м·К)	мерзлых λ_f , Вт/(м·К)	талых $C_{\rho th} \cdot 10^6$, Дж/(м³·К)	мерзлых $C_{\rho f} \cdot 10^6$, Дж/(м³·К)
1 (песок)	300–500	5–7	6	1,96	22,1	0,68	1,139	1,77	2,15	2,59	1,88
2 (супесь)	20–40	20–40	13	1,97	27,3	0,45	0,633	1,36	1,46	3,01	2,31
3 (суглинок)	80–100	≈10	10	2,24	17,8	0,86	0,857	1,79	1,92	2,87	2,25

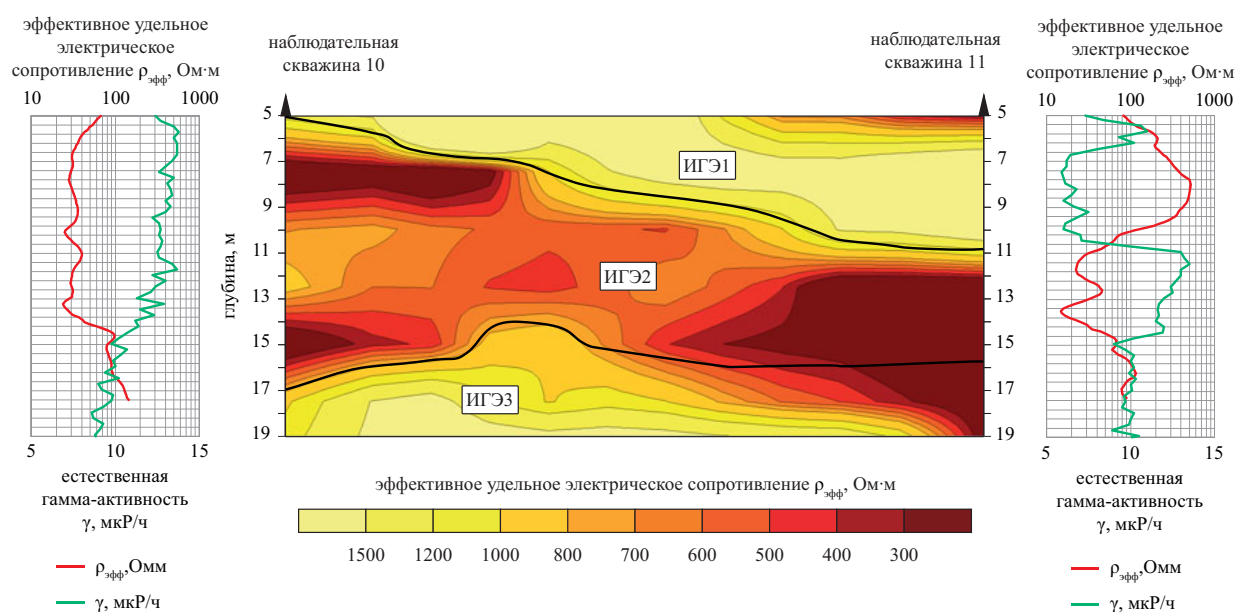


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по линии наблюдательных скважин Н/С10, 11 для частоты 2,5 МГц. Вертикальная ось – глубина, м; цветовая шкала – эффективное удельное электрическое сопротивление, Ом·м; γ – естественная гамма-активность, мкР/ч; $\rho_{эфф}$ – эффективное удельное электрическое сопротивление, Ом·м

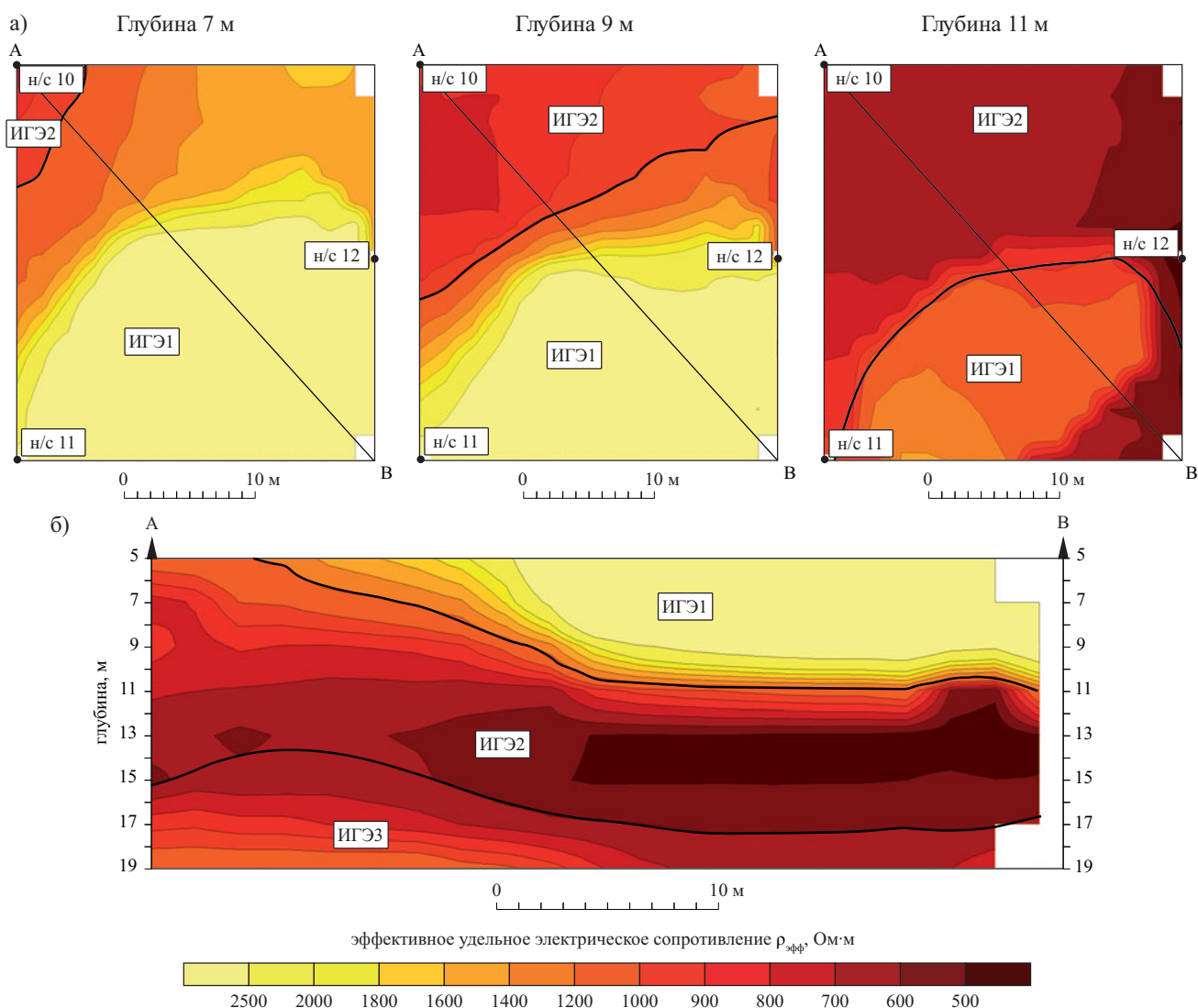


Рис. 4. Горизонтальные сечения объемной карты эффективного удельного электрического сопротивления $r_{эфф}$ на глубине 7, 9, 11 м при измерениях на частоте 2,5 МГц (а); разрез по линии АВ, выполненный по объемной карте $r_{эфф}$ для частоты 2,5 МГц (б). Вертикальная ось на разрезе — глубина, м; цветовая шкала — эффективное удельное электрическое сопротивление, Ом·м

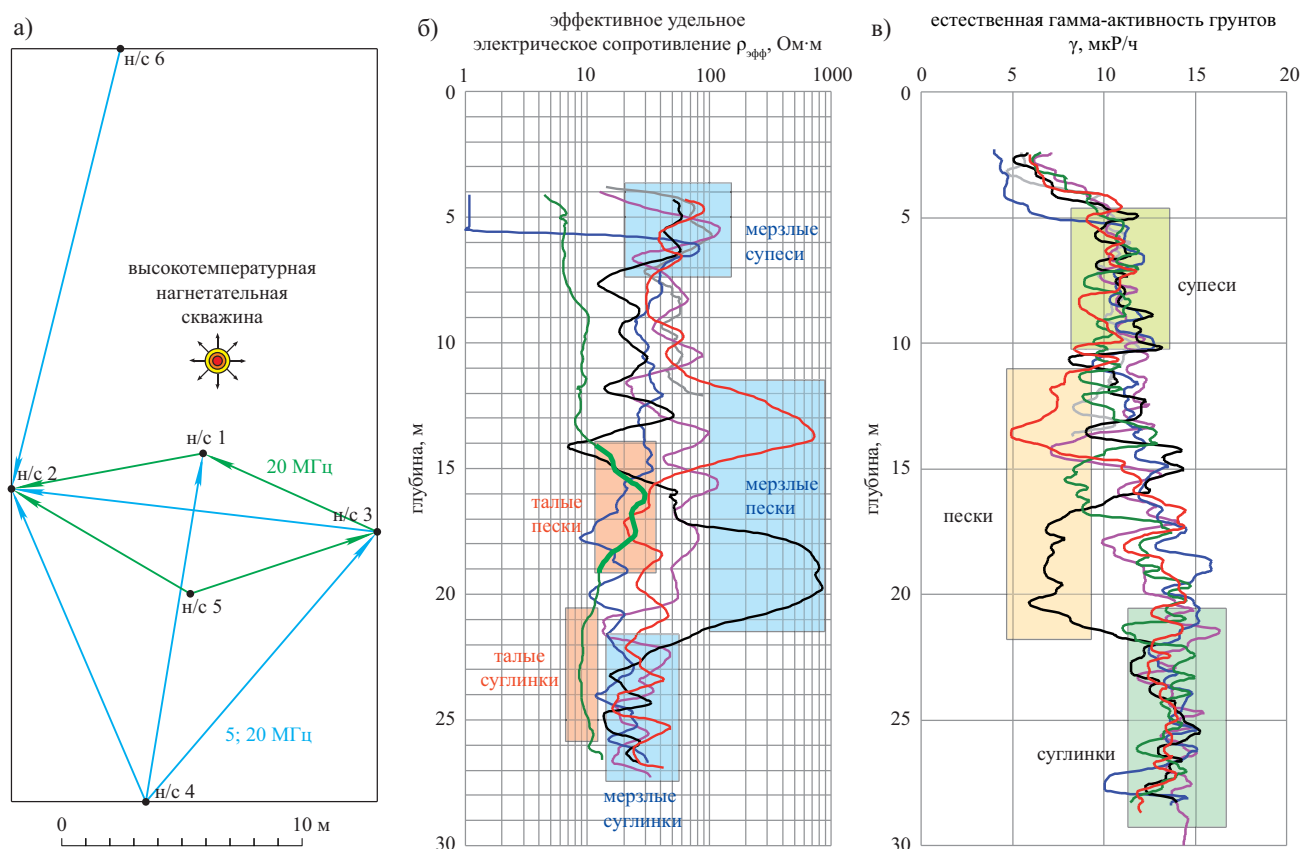


Рис. 5. Схема расположения наблюдательных скважин и направления сечений РВГИ (а); сопоставление данных ОРВП для частоты 1,25 МГц (б); сопоставление данных ГК (в). Вертикальные оси – глубина, м; $\rho_{\text{эфф}}$ – эффективное удельное электрическое сопротивление, Ом·м; γ – естественная гамма-активность, мкР/ч

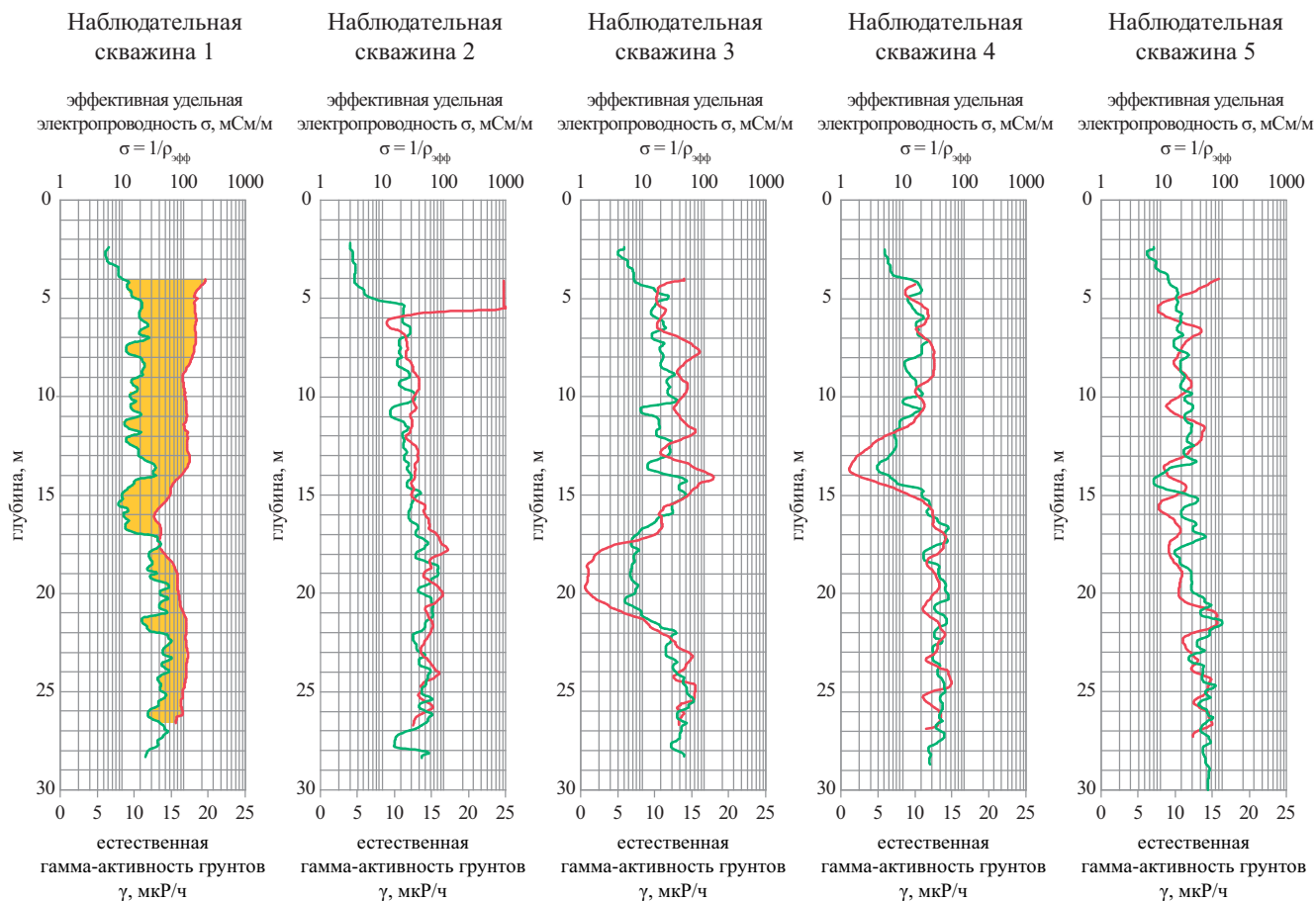


Рис. 6. Сопоставление кривых электропроводности и естественной радиоактивности; γ – естественная гамма-активность грунтов мкР/ч; σ – эффективная удельная электропроводность, мСм/м, $\sigma = 1/\rho_{\text{эфф}}$; заливка красного цвета показывает anomalous увеличение значений σ в наблюдательной скважине с зафиксированным процессом растепления

полиэтиленовыми трубами. Размещение скважин и расстояния между ними определяются технологическими условиями на участке, сопротивлением грунтов и требуемой детальностью исследований.

Оптимально, чтобы сеть обеспечивала примерное равенство расстояний между наблюдательными скважинами и равномерное распределение их по исследуемому участку. Соблюдение этих параметров значительно упрощает этап обработки данных. Применение полиэтиленовых труб и специальная консервация наблюдательных скважин позволяют проводить систематические наблюдения за изменениями температуры и электрических характеристик исследуемых грунтов.

Опыт применения комплекса методов скважинной геофизики на этапе проектирования кустовой площадки

На первом участке вышеописанный комплекс методов применялся на этапе проектирования кустовой площадки. Были пробурены три наблюдательные скважины глубиной порядка 20 м на расстоянии 30 м друг от друга. В них определялись электрические характеристики и естественная радиоактивность грунтов. Бурение сопровождалось отбором керна, для образцов которого с помощью лабораторных методов определялись петрофизические и теплофизические характеристики грунтов в мерзлом и талом состоянии.

По литологическому составу и теплофизическим свойствам исследованные грунты были разделены главным геологом ООО «Радионда» С.В. Бомкиным в 2010 году на три инженерно-геологических элемента (ИГЭ). Для выделенных ИГЭ в табл. 1 приведены осредненные значения плотности, влажности и теплофизических параметров. Также даны диапазоны изменения $r_{эф}$, $\epsilon_{эф}$ и естественной гамма-активности грунтов γ .

В ходе сопоставления полученных материалов была установлена взаимосвязь между литологическим типом грунта и его теплофизическими параметрами с одной стороны и физическими характеристиками (значениями $r_{эф}$, $\epsilon_{эф}$, γ), определенными с помощью скважинных измерений, с другой.

Таким образом, по изменениям электрических характеристик грунтов можно проследить инженерно-геологические элементы в межскважинном пространстве.

На рисунке 3 представлен геоэлектрический разрез по линии наблюдательных скважин № 10, 11, полученный по данным РВГИ на частоте 2,5 МГц. На разрезе выделены инженерно-геологические элементы, рядом приведены диаграммы каротажа.

В верхней части разреза залегают мерзлые пески (ИГЭ-1) с высокой льдистостью (в среднем около 22,1%), характеризующиеся наиболее высоким электрическим сопротивлением (примерно 300–500 Ом·м), и самыми низкими значениями естественной радиоактивности (около 6 мкР/ч). Ниже залегает пласт суглинков (ИГЭ-2), контрастный по ряду характеристик в данном разрезе — он имеет наименьшие значения эффективного электрического сопротивления (20–40 Ом·м) и наибольшие значения естественной радиоактивности (примерно 13 мкР/ч). В наблюдательной скважине 10 кровля пласта, выделяемая на отметке 5 м, падает под углом порядка 8° к наблюдательной скважине 11 на глубину 10,8 м вдоль изолинии $r_{эф} = 1000$ Ом·м. В основании разреза ниже 15 м горизонтально залегает толща супесей (ИГЭ-3), характеризующаяся промежуточными значениями определяемых параметров.

Совместная обработка нескольких сечений с помощью волнового алгоритма позволяет проследить изменения электрических характеристик грунтов во всем массиве между скважинами. При такой обработке пространство разбивается на элементарные объемные ячейки заданного размера, в каждой из которых определяется эффективное электрическое сопротивление. В результате рассчитывается объемная матрица сопротивлений. Такая обработка данных позволяет построить как горизонтальные планы на любой глубине, так и разрезы в любом направлении.

На рисунке 4 представлены фрагменты объемной геоэлектрической карты, выполненной на этом же участке работ. Измерения проводились на частоте 2,5 МГц. На горизонтальных планах (см. рис. 4, а) хорошо видно, как пески (ИГЭ-1) с увеличением глубины отступают в юго-восточном направлении, заполняя чашеобразное пространство, четко выделяемое на разрезе по линии АВ (см. рис. 4, б). Данная технология 3D геоэлектрического картирования позволяет максимально полно получить представление о распределении грунтов в межскважинном пространстве и максимально

точно создать объемную инженерно-геологическую модель объекта.

После изучения распределения электрических характеристик во всем объеме межскважинного пространства и разбиения среды на элементарные ячейки был осуществлен переход к распределению теплофизических характеристик. Таким образом была создана теплофизическая модель исследуемой области, позволяющая проводить численное моделирование процессов оттаивания многолетнемерзлых грунтов при воздействии эксплуатационных скважин.

Опыт применения комплекса методов скважинной геофизики на этапе эксплуатации кустовой площадки

На второй кустовой площадке исследования комплексом скважинных методов были проведены на этапе ее эксплуатации. Вблизи потенциального источника растепления — нагнетательной скважины, через которую в продуктивные нефтяные пласты закачивался перегретый пар, было пробурено шесть наблюдательных скважин глубиной 30 м. Схема их расположения представлена на рис. 5, а. Синими стрелками обо-

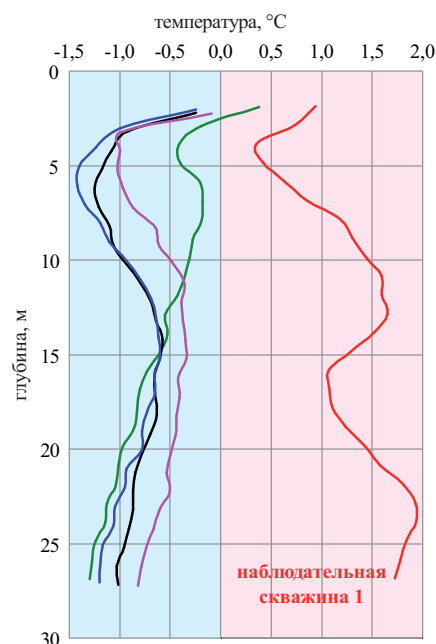


Рис. 7. Сопоставление данных скважинной термометрии. Горизонтальная ось — температура, °С; в голубой области приведены температурные кривые для наблюдательных скважин 2–5, расположенных в зоне мерзлых пород; в розовой области приведена температурная кривая для наблюдательной скважины 1, в которой зафиксирован процесс растепления

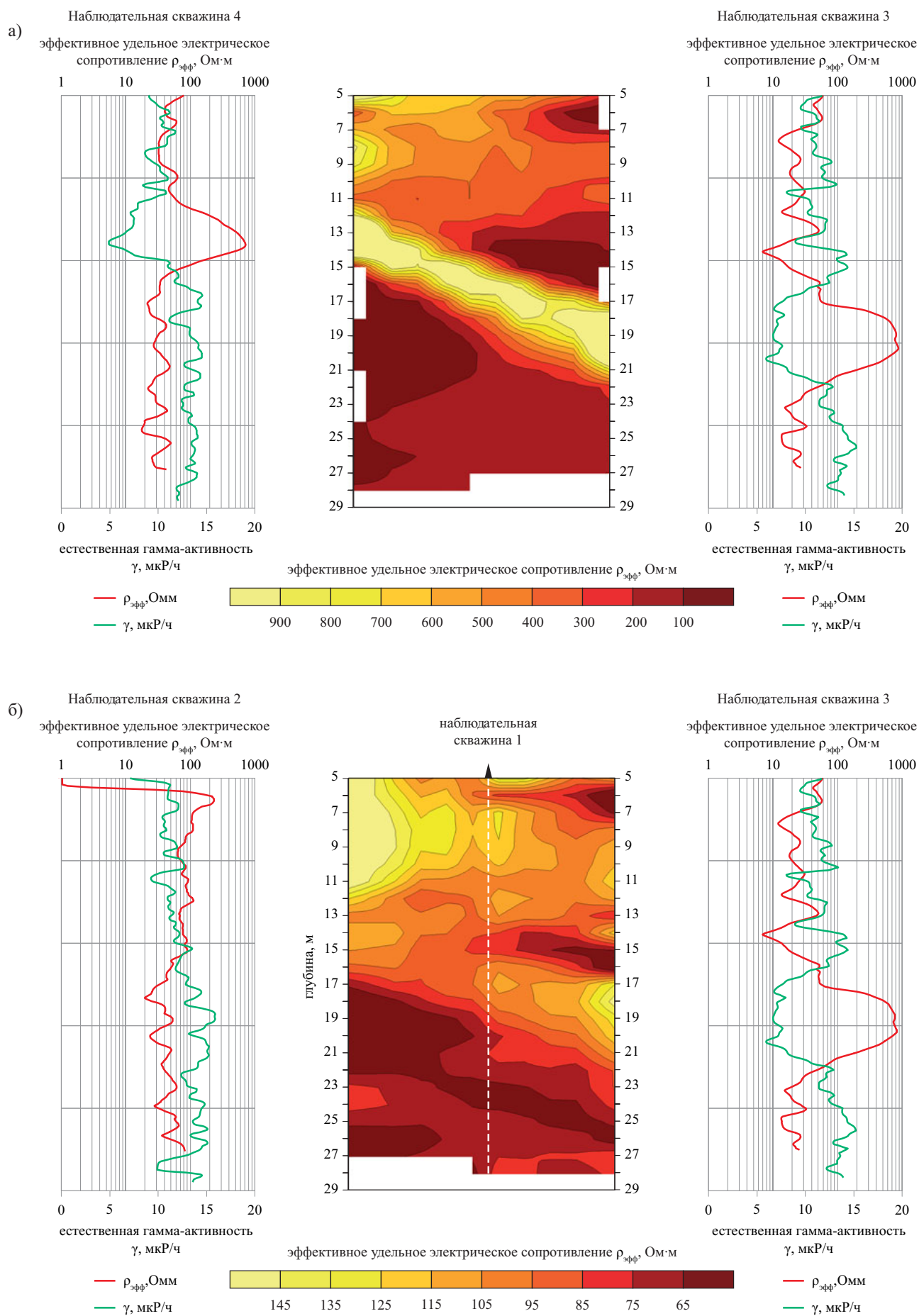


Рис. 8. Геоэлектрические разрезы по линиям скважин Н/С 4–Н/С 3 (а) и Н/С 2–Н/С 3 (б). Вертикальная ось – глубина, м; цветовая шкала — эффективное удельное электрическое сопротивление, Ом·м; γ — естественная гамма-активность, мкР/ч; $R_{эфф}$ — эффективное удельное электрическое сопротивление, Ом·м

значены направления, в которых осуществлялось радиопросвечивание межскважинного пространства на частотах 5 и 20 МГц, зелеными – на частоте 20 МГц. На расположение скважин повлияли предположения о возможной форме и размерах возможной аномалии, связанной с изменением характеристик ММГ, опирающиеся на данные наземной электроразведки. В этой схеме скважина 4, находящаяся на значительном удалении от источника тепла, где породы не подверглись процессам растепления, служила базой сравнения.

Электрические характеристики грунтов исследуемого участка определялись с помощью метода ОРВП на частоте 1,25 МГц. Диаграммы эффективного электрического сопротивления приведены на рис. 5, б. Выявлена высокая контрастность разреза по электрическому сопротивлению: наибольшие значения $r_{эф}$ характерны, так же как и на первом участке, для мерзлых песков (700–800 Ом·м), наиболее низкие — для талых суглинков (10 Ом·м).

По уровню естественной радиоактивности пород γ , определяемой глинистостью пород, также выявлено резкие различия. На рисунке 5, в представлены диаграммы каротажа. На общем

фоне четко выделяются два уровня: минимальные значения в диапазоне $\gamma = 5 \div 8$ мкР/ч соответствуют пескам, представленным в скважинах Н/С 3 и Н/С 4, и максимальные $\gamma = 11 \div 15$ мкР/ч характерны для суглинков. В отличие от электрических характеристик значения естественной радиоактивности не зависят от мерзлотного состояния грунтов.

На рисунке 6 приведены диаграммы ГК и ОРВП каротажа. При сопоставлении данных ОРВП и ГК была установлена тесная корреляция между значениями электропроводности и естественной радиоактивности грунтов.

В отличие от всех рассматриваемых скважин в Н/С 1, расположенной наиболее близко к источнику растепления, обнаружено несоответствие форм кривых электропроводности и естественной радиоактивности. При сравнении с данными ГК повышенные относительно других скважин значения электропроводности на представленных графиках отмечены красной областью. По данным термометрии в этой скважине была установлена положительная температурная аномалия (рис. 7).

Для остальных скважин (Н/С 2–6), удаленных от источника тепла, температура была отрицательной.

Факт значительного снижения электропроводности может быть объяснен только изменением состояния многолетнемерзлых грунтов и никак не изменением их литологического типа. Следя за изменением электрических характеристик, можно проследить развитие растевающей области. Дополнительным показателем изменений геокриологических условий является нарушение корреляции между данными электро- и гамма-каротажа.

Измерения в Н/С 1 выявили неравномерное распределение температуры по стволу скважины (см. рис. 7). На глубинах 12,5 и 24,5 м отмечаются наибольшие положительные температурные аномалии (+1,6 и +1,9 °С соответственно). Отметим, что положительные температурные аномалии приурочены к интервалам, сложенным суглинками.

Исследовать грунты в межскважинном пространстве и выделить развивающийся процесс растепления, наложенный на довольно сложную геологическую обстановку как с глубиной, так и в плане, позволил метод РВГИ. На рисунке 8, а представлен геоэлектрический разрез для частоты 5 МГц по линии скважин Н/С 4–Н/С 3. Четко прослеживается контрастный объект с

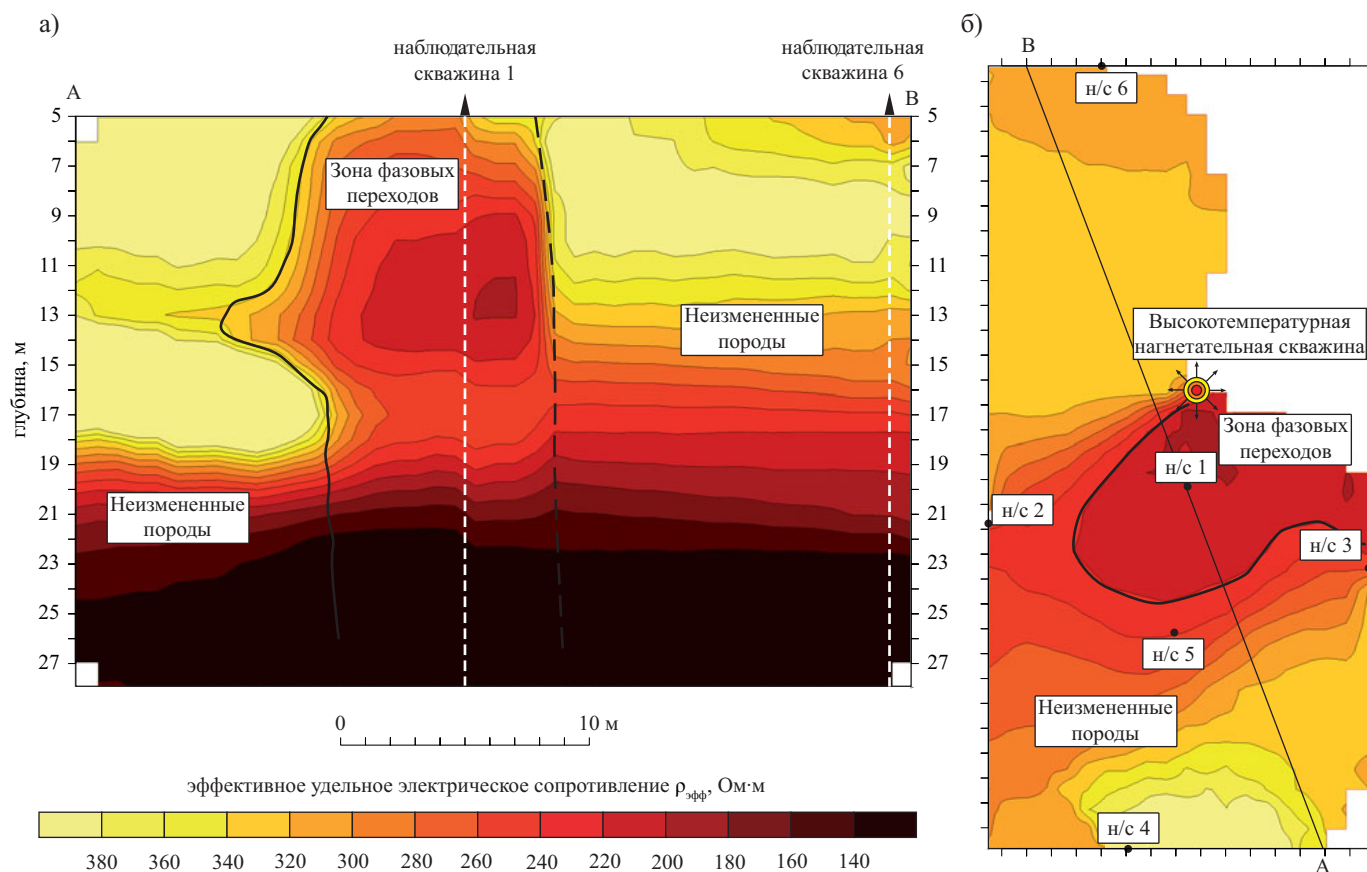


Рис. 9. Геоэлектрический разрез по линии АВ, выполненный по 3D-карте гэф для частоты 5 МГц (а); горизонтальное сечение, выполненное по 3D-карте $r_{эф}$ на глубине 13 м для частоты 5 МГц (б). Вертикальная ось на разрезе — глубина, м; цветовая шкала — эффективное удельное электрическое сопротивление, Ом·м

высоким электрическим сопротивлением, крутопадающий под углом 18° с глубин 11,0–14,5 м в скважине Н/С 4 до 16,8–21,7 м в Н/С 3. Данный пласт мерзлых песков выделяется односкважинными методами в названных наблюдательных скважинах, однако на геоэлектрическом разрезе по линии Н/С 2–Н/С 4, представленном на рис. 8, б, видно, что этот слой протягивается в скважину Н/С 1, расположенную наиболее близко к источнику растепления, до глубин 16–20 м, где находится уже в талом состоянии. Низкие значения эффективного электрического сопротивления в скважине Н/С 1 не позволяли достоверно проследить данный пласт, опираясь лишь на результаты каротажа.

Наиболее наглядно зона растепления выделяется на объемной (3D) геоэлектрической карте. На рисунке 9 представлены фрагменты объемной карты эффективного электрического сопротивления для частоты 5 МГц.

На разрезе, выполненном по линии АВ (см. рис. 9, а) видно столбообразное понижение сопротивления. Совместная интерпретация односкважинных и межскважинных исследований указывает на то, что оно связано именно с изменением мерзлотного состояния грунтов вблизи высокотемпературной нагнетательной скважины. На разрезе видна неравномерность процесса растепления по глубине, что подтверждается данными скважинной термометрии. Наибольшие изменения на-

блюдаются на глубине 13 м. Глубже 21 м в интервале залегания суглинков с низкими сопротивлениями выделить зону растепления по данным однократных измерений достоверно не удалось. Изменения геокриологических условий можно проследить и в плане.

На рисунке 9, б представлено горизонтальное сечение, выполненное по этой же 3D геоэлектрической карте на глубине 13 м. Область пониженного сопротивления (изолиния $r_{\text{эф}} \leq 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) можно соотнести с зоной фазовых переходов, в пределах которой грунты находятся еще в мерзлом состоянии, однако переход льда в жидкую фазу уже начался. Верхний горизонт растепления представляет собой вытянутую с юго-запада на северо-восток овальную в плане область. Можно предположить, что дальнейшее протаивание грунтов будет происходить именно в этом направлении.

Использование высокой частоты позволяет выделять объекты меньших размеров с более высокой точностью, а также проводить исследования между скважинами, находящимися на меньшем расстоянии друг от друга при сохранении условий радиопросвечивания (условий волновой зоны). На частоте 20 МГц были сделаны дополнительные короткие сечения, что позволило выделить зону талых грунтов. Как в плане, так и на разрезе, представленном на рис. 10, а можно заметить развитие области низких сопротивлений ($r_{\text{эф}} < 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$), распространяющейся по двум

горизонтам от нагнетательной скважины. На горизонтальных сечениях видно, что большее распространение она получила между Н/С 1 и Н/С 3. Пониженное значение сопротивлений для верхнего горизонта (рис. 10, б) связано с талым состоянием грунтов, так как в соседних скважинах встречены те же породы, но сопротивление их существенно выше. Для нижнего горизонта (рис. 10, в) однозначно разделить влияние протаивания и низкого сопротивления мерзлых суглинков нельзя. Тем не менее субвертикальная форма этой области в разрезе позволяет утверждать, что она связана с основным таликом, образовавшимся вокруг высокотемпературной нагнетательной скважины, где процесс фазового перехода льда в жидкость завершен.

Совместная обработка результатов измерений в диапазоне частот 5–31 МГц позволила впервые построить объемную карту распределения относительной диэлектрической проницаемости, представленную на рис 11. Как известно, значения этого параметра для воды и льда различаются между собой на данных частотах в 40 раз, что позволяет применять его для дополнительной оценки мерзлотного состояния пород в основаниях кустовых площадок. Зону повышенных значений относительной диэлектрической проницаемости на глубине 13 м, распространяющуюся в юго-западном направлении, можно соотнести с зоной изменения состояния многолетнемерзлых грунтов.

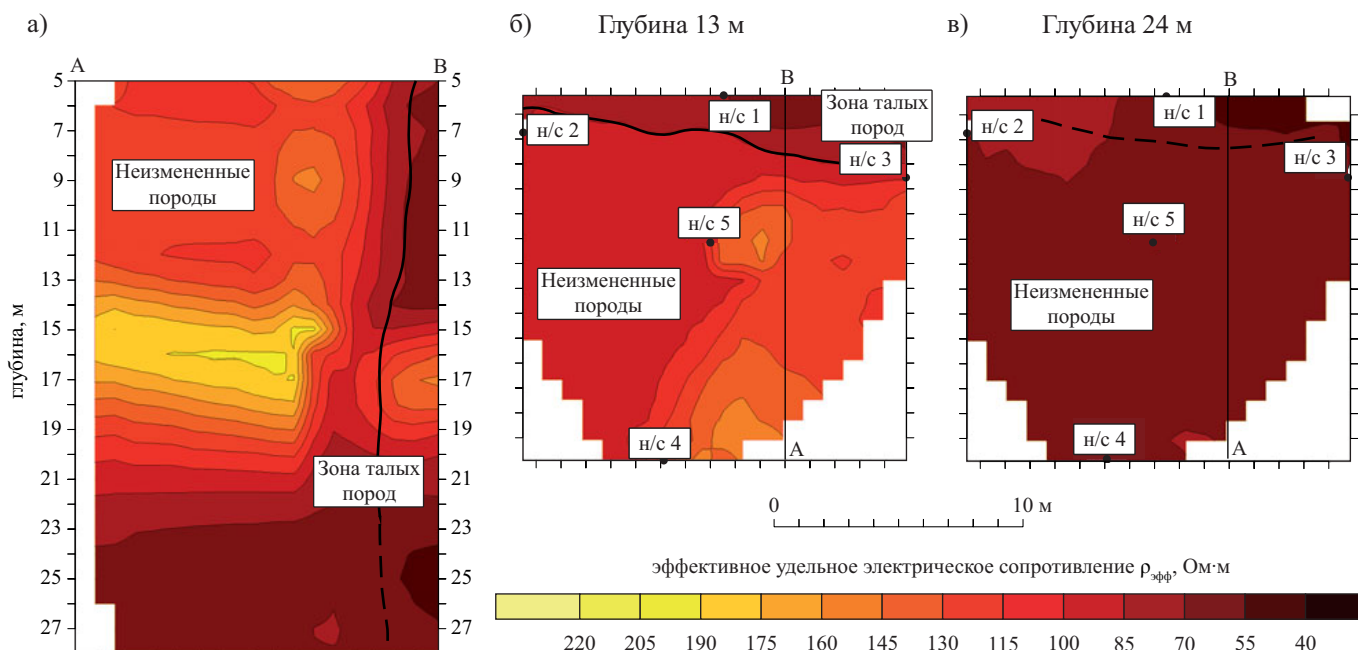


Рис. 10. Геоэлектрический разрез по линии АВ, выполненный по 3D-карте гэф для частоты 20 МГц (а); горизонтальное сечение, выполненное по 3D-карте $r_{\text{эф}}$ на глубине 13 м для частоты 20 МГц (б); то же на глубине 24 м (в). Вертикальная ось на разрезе — глубина, м; цветовая шкала — эффективное удельное электрическое сопротивление, Ом·м

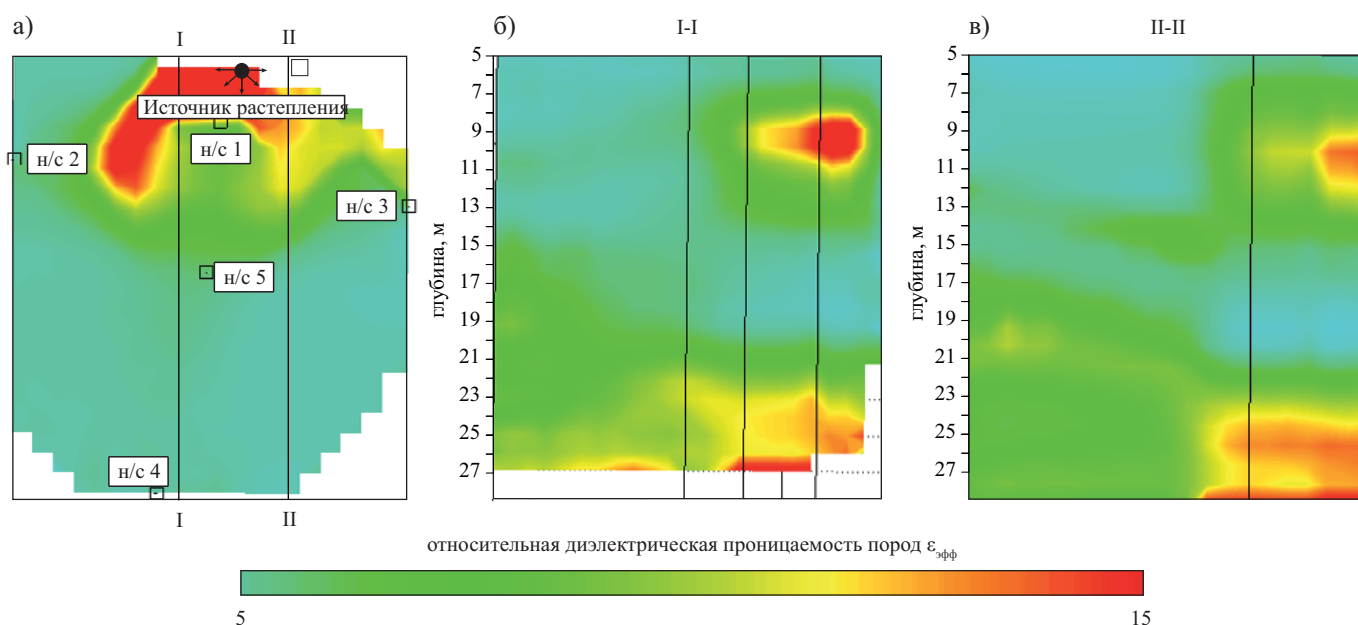


Рис. 11. Фрагменты объемной карты относительной диэлектрической проницаемости $\epsilon_{\text{эф}}$. Горизонтальное сечение на глубине 13 м (а) и вертикальные разрезы по линиям I (б) и II (в). Вертикальная ось на разрезах — глубина, м; цветовая шкала — $\epsilon_{\text{эф}}$, безразм

Выводы

Геологические разрезы оснований кустовых площадок в Западной Сибири сложены терригенными породами со сложным негоризонтально-слоистым залеганием. Электрические характеристики этих грунтов могут быть весьма различными, что позволяет использовать для их исследования радиоволновые методы.

Предлагаемый комплекс методов скважинной геофизики дает возможность не только устанавливать геологическое строение верхней части толщи ММГ, но и оценивать мерзлотное состояние грунтов кустовых площадок на разных этапах строительства и эксплуатации добычных скважин.

Грунты на исследуемой территории можно разделить на группы с различными характеристиками. На основании изучения распределения их электрических характеристик можно сделать вывод о распределении в межскважинном пространстве также и их теплофизических параметров.

Полученная методами скважинной геофизики информация в формате 3D может применяться для более точного математического моделирования теплового режима вблизи эксплуатационных скважин, выбора способа их термоизоляции и расчета необходимого расстояния между устьями, при котором в результате взаимодействия скважины с мерзлыми грунтами не произойдет слияния зон растепления.

Целесообразность создания на кустовых площадках оптимальной сети наблюдательных скважин с полиэтилен-

новой обсадкой дает возможность не только систематически наблюдать за тепловым режимом грунтов вокруг эксплуатационных скважин, но и контролировать с помощью методов скважинной геофизики динамику развития процесса растепления во времени и пространстве.

Измерения с помощью высокочастотных электромагнитных методов на нескольких частотах позволяет определять дополнительный параметр — относительную диэлектрическую проницаемость среды, характеризующую состояние многолетнемерзлых пород и происходящие в них процессы.

Список литературы

1. Борисов Б.Ф., Истратов В.А., Лысов М.Г. Способ радиоволнового межскважинного просвечивания: патент России № 2084930 от 22.07.93. М.: База патентов на изобретения РФ, 1993.
2. Гасумов Р.А., Терновой Ю.В., Королев С.Н., Кондренко О.С. Прогноз устойчивости кондуктора при растеплении в зонах многолетнемерзлых пород в процессе бурения и эксплуатации скважин. ОАО «СевКавНИПИгаз», г. Ставрополь; ОАО «Сургутнефтегаз», г. Сургут // Материалы Первой всероссийской заочной конференции «Проблемы повышения газонефтеотдачи месторождений на завершающей стадии их разработки и эксплуатации ПХГ». Ставрополь: Северо-Кавказский государственный технический университет, 2005.
3. Истратов В.А., Остапчук С.И., Скринник А.В., Перекалин С.О. Новая аппаратура для радиоволновой геоинтроскопии горных пород в межскважинном пространстве «РВГИ-2005». ООО «Радионда», г. Москва. // Приборы и системы разведочной геофизики: ежеквартальное официальное издание Саратовского отделения Евро-Азиатского геофизического общества. 2006. № 1 (15). С. 20–26.
4. Лях Е.В., Истратов В.А., Перекалин С.О. Опыт высокочастотных электромагнитных исследований в скважинах со стеклопластиковой обсадкой (СПОТ) для мониторинга процесса разработки нефтяных месторождений // НТВ «Каротажник». 2006. № 1 (142). С. 71–86.
5. Редклифф Р.Д., Баланис К.А. Геофизические применения алгоритмов восстановления в присутствии шумов // Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (ТИИЭР). 1979. Т. 67. № 7. С. 98–102.
6. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: Госстрой СССР, 1990.
7. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов. Пушкино: Изд-во ОНТИ ПНЦ РАН, 2005. 607 с.
8. Istratov V.A., Frolov A.D. Radio wave borehole measurements to determine in situ the electric property distribution in a massif // Journal of Geophysical Research. Planets. 2003. V. 108. № E4.